

Analisa Dan *Size Optimization* Jib Boom Hydraulic Crane Dengan Metode Elemen Hingga

Diaz Vidya Kelana dan Julendra B. Ariatedja

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: ariatedja@me.its.ac.id

Abstrak—Crane adalah mesin alat berat yang digunakan untuk mengangkat barang dengan beban besar dan memindahkannya pada tempat yang diinginkan. Pada suatu industri kekuatan struktur pada lengan crane sangat penting. Selain itu berat dari crane juga diperhatikan karena berpengaruh pada nilai ekonomis dari suatu barang untuk bertahan di pasar persaingan industri akibat biaya material. Oleh karena itu optimasi dilakukan pada *jib boom hydraulic crane* untuk mengurangi massa. Analisa dan optimasi ukuran (*size optimization*) *jib boom hydraulic crane* untuk kapasitas 25 Ton yang meliputi lebar dan tinggi *jib boom hydraulic crane* dilakukan dengan *software* elemen hingga. Tahapan penelitian terdiri dari analisa tegangan dan defleksi dengan *hand calculation*, penggambaran model pada *software* untuk mendapatkan hasil *equivalent stress* dan *total deformation*. Selanjutnya adalah melakukan *size optimization* dengan *response surface optimization* pada model awal, model $th/tl=1$ dan model $th/tl > 1$ dengan metode NLPQL (*Non-Linear Programming by Quadratic Lagrangian*). Kemudian dilakukan analisa dan komparasi rasio tinggi/lebar setiap *section* dengan perhitungan rasio optimal pada Ms.Excel. Hasil yang didapat dari penelitian adalah dimensi tiga *section* (tinggi-lebar) dari *jib boom hydraulic crane*. Pada model awal *geometry mass* mengalami 10,26% pengurangan. *Equivalent stress* dan *total deformation* yang dimiliki oleh model awal sebesar 230,73 Mpa dan 39,907 mm. Pada model $th/tl=1$ dan $th/tl>1$ perubahan *geometry mass*, besar *equivalent stress* dan *total deformation*nya adalah (19,39% ,8372,8 kg, 45,49 mm) dan (18,36% , 8744,5 kg, 40,573 mm).

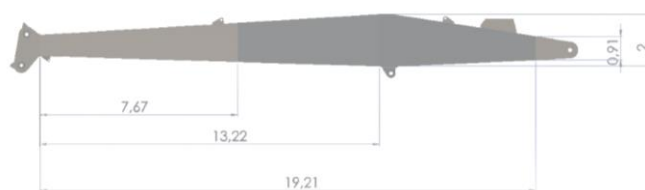
Kata Kunci—*Jib Boom Hydraulic Crane*, Metode Elemen Hingga, *Size Optimization*.

I. PENDAHULUAN

OPTIMASI struktur harus direncanakan secara optimal. Struktur paling optimal adalah struktur yang memenuhi segala persyaratan yang diinginkan. Dalam industri syarat yang harus terpenuhi adalah mendapatkan struktur yang paling ekonomis. Berdasarkan variabel saat melakukan optimasi, terdapat tiga jenis yaitu *topology optimization*, *shape optimization* dan *size optimization*. *Topology optimization* adalah salah satu jenis optimasi struktur yang digunakan untuk menentukan desain optimal berdasarkan distribusi tegangan pada suatu material. Sedangkan *shape optimization* adalah optimasi struktur yang dilakukan berdasarkan pada variabel geometri melalui nodal tiap elemen. Pada elemen nodal terdapat lengkungan yang memiliki volume lebih kecil dari desain awal. *Size optimization* dilakukan berdasarkan variabel dimensi. Optimasi ini dilakukan pada ukuran lebar, tebal dan panjang struktur [1]. *Hydraulic crane* menggunakan sistem pneumatic hidrolik untuk pengoperasiannya. Crane ini diletakkan pada suatu titik agar tidak berpindah. Jangkauan dari *hydraulic crane* ini juga tidak terlalu jauh. Dalam mengangkat beban yang berat

dan memindahkannya secara horizontal maupun vertikal dibutuhkan desain *jib* yang kuat. Namun dalam industri, kekuatan saja tidak cukup tanpa nilai ekonomis yang baik. Dalam menghasilkan nilai yang ekonomis bergantung pada salah satu faktor yaitu massa. Dengan massa yang lebih ringan, biaya material yang digunakan akan lebih sedikit, karena tergantung pada berat crane itu sendiri. Kenyataan di lapangan, *jib* mengalami *over design*.

Berdasarkan hal tersebut, penulis mencoba menganalisa *equivalent stress* dan *total deformation* yang terjadi pada *jib boom hydraulic crane*. Berikut ini adalah *jib boom hydraulic crane* yang akan dilakukan analisa dan optimasi. Ada dua tujuan utama penelitian ini antara lain: (1) mengetahui bagaimana hasil analisa *stress* dan besar deformasi *jib boom hydraulic crane* sebelum dilakukan optimasi, (2) mengetahui bagaimana hasil optimasi ukuran (*size optimization*) *jib boom hydraulic crane* yang memberikan hasil *stress* dan *deformation* terkecil.



Gambar 1. Model *Jib Boom Hydraulic Crane* SWL 25T–20,5m.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tegangan

1. Tegangan Normal / *Normal Stress*

Tegangan normal adalah tegangan yang terjadi ketika suatu material dibebani oleh gaya aksial. Nilai dari normal stress/tegangan normal dapat didekati dengan gaya yang bekerja dibagi dengan luas area irisan. Dengan σ adalah *normal stress*, P adalah *axial force* dan A adalah luas penampang area

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

2. Tegangan Lengkung / *Bending Stress*



Gambar 2. *Bending Stress* Pada I-beam.

Bending adalah ciri perilaku ketika material struktural ramping yang diberi beban eksternal diterapkan tegak lurus terhadap sumbu longitudinal elemen seperti ditunjukkan pada gambar 2. Perumusan *bending stress* ditunjukkan pada persamaan (2)

$$\sigma_b = \frac{M.y}{I} \quad (2)$$

dimana σ_b adalah tegangan lengkung, M adalah momen dan I adalah momen area kedua [2].

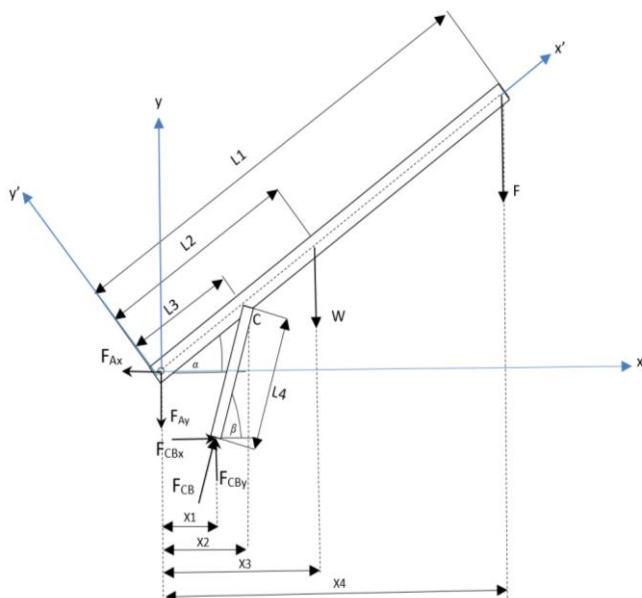
Momen bending dapat dipengaruhi oleh besarnya momen area kedua dibagi jarak titik berat ke sumbu pusat (z). Semakin besar nilai z maka nilai tegangan akan semakin kecil. Untuk memaksimalkan z pada *hollow rectangle beam* dengan tebal plat horisontal dan vertikal sama, dapat digunakan persamaan (3). Dengan perbedaan tebal plat horisontal dan vertikal dapat digunakan persamaan (4) untuk memaksimalkan z jika dilakukan iterasi.

$$\begin{aligned} \text{3. Tinggi section luar : } H &= \frac{4t^2 + A}{2t \left(\frac{1}{R} + 1 \right)} \\ \text{Lebar section luar : } B &= \frac{H}{R} \\ \text{Lebar section Dalam : } b &= B - 2t \\ \text{Tinggi section dalam : } h &= H - 2t \\ \text{Maximize : } I/c = z &= \frac{\left(\frac{H^4}{R} \right) - (B-2t)(H-2t)}{6H} \quad (3) \\ \text{Lebar section Dalam : } b &= B - 2.t_b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{4. Tinggi section dalam : } h &= H - 2.t_h \\ \text{Rasio section dalam : } R_d &= \frac{t_h}{t_b} \\ \text{Tinggi section luar : } H &= \frac{\frac{4t_h^2}{R_d} + A}{2.t_h \left(\frac{1}{R_d} + \frac{1}{R_l} \right)} \\ \text{Maximize : } I/c = z &= \frac{(B H^3 - h^3)}{6H} \quad (4) \end{aligned}$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Analisa Tegangan Dan Defleksi (Hand Calculation)



Gambar 3. Free Body Diagram Gaya-Gaya pada Jib Boom Hydraulic Crane.

Analisa tegangan dan defleksi dengan *hand calculation* dilakukan dengan tujuan melakukan verifikasi yang akan dibandingkan dengan hasil simulasi *equivalent stress* dan *total deformation* pada *software*. Dalam menganalisa *stress* dan *total deformation* dibutuhkan beberapa data yang harus dicari yaitu besar gaya reaksi, momen, momen area kedua hingga persamaan defleksi.

1. Perhitungan Gaya-Gaya Pada Jib Boom

Tabel 1.
Keterangan Dimensi Jib Boom Hydraulic Crane Pada Gambar 3.3.

No	Keterangan	Dimensi (m)
1	L1	19,21
2	L2	9,605
3	L3	5,99
4	L4	6,982
5	L5	2,335
6	X1	5,99cos α - 6,982cos β
7	X2	5,99 cos α
8	X3	9,605cos α
9	X4	19,21cos α
10	γ	90° - β + α

$$\begin{aligned} \sum M_C &= 0 \\ 0 &= F_{Ay}' \cdot L_3 - W \cos \alpha (L_2 - L_3) - F \cos \alpha (L_1 - L_3) \\ F_{Ay}' &= \frac{W \cos \alpha (L_2 - L_3) + F \cos \alpha (L_1 - L_3)}{L_3} \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ 0 &= F_{CB} \cdot \cos \gamma (L_3) - W \cos \alpha (L_2) - F \cos \alpha (L_1) \\ F_{CB} &= \frac{W \cos \alpha (L_2) + F \cos \alpha (L_1)}{\cos \gamma (L_3)} \quad (6) \end{aligned}$$

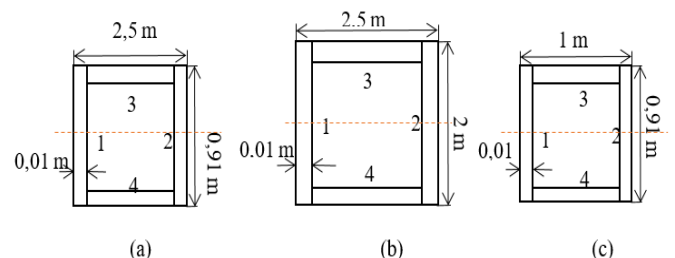
$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ 0 &= F_{Ax}' + F_{CB} \cdot \sin \gamma - W \sin \alpha - F \sin \alpha \\ F_{Ax}' &= -F_{CB} \cdot \sin \gamma + W \sin \alpha + F \sin \alpha \quad (7) \end{aligned}$$

Dimana $F_{Ax}' = F_{Ax} \cos \alpha$ dan $F_{Ay}' = F_{Ay} \cos \alpha$.

Dengan mensubstitusikan $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 39^\circ$ dan $\gamma = 66^\circ$ ke dalam persamaan (5) hingga (7), akan didapatkan besarnya nilai $F_{Ax}' = -1.717.444,7$ N, $F_{Ay}' = 648.005,8$ N, $F_{Ax} = -1.765.217,8$ N, $F_{Ay} = 666.419$ N dan $F_{CB} = 2.113.479,5$ N.

2. Perhitungan Momen Area Kedua Jib Boom

Perhitungan momen area kedua menggunakan persamaan (3). Dilakukan penyederhanaan model *jib boom* dalam perhitungan. Hal ini dilakukan untuk mempermudah perhitungan secara *hand calculation*. Berikut ini adalah potongan *section* pangkal, tengah dan ujung pada *jib* untuk melakukan perhitungan

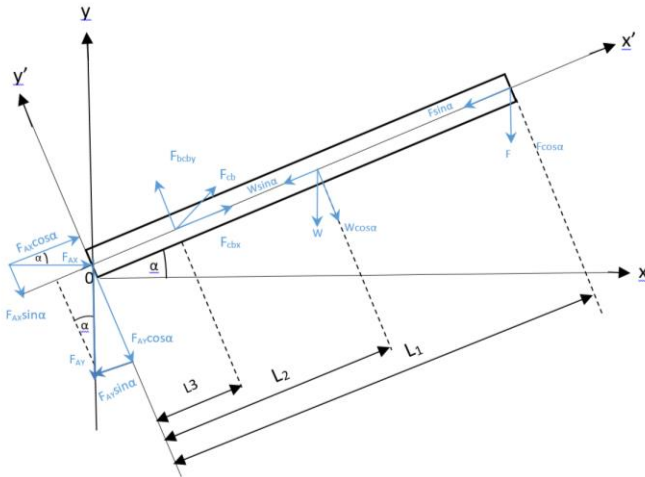


Gambar 4. Potongan *section* (a): Pangkal, (b): Tengah, (c) : Ujung Jib Boom Hydraulic Crane (Without scale).

Dengan menggunakan perumusan (3) didapatkan momen area kedua untuk setiap *section*nya. Besarnya momen area kedua pada *section* pangkal adalah $0,02666 \text{ m}^4$, *section* tengah sebesar $0,03874 \text{ m}^4$ dan $0,00281 \text{ m}^4$ untuk *section* ujung. Sehingga $I_{\text{PANGKAL}} + I_{\text{TENGAH}} + I_{\text{UJUNG}} = 0,06821 \text{ m}^4$

3. Perhitungan Defleksi Jib Boom

Metodologi awal dalam pengerjaan studi ini adalah penggambaran diagram benda bebas dari gaya-gaya luar yang terjadi pada kondisi kesetimbangan, kemudian mencari persamaan defleksi dengan persamaan (4). [3]



Gambar 5. Free Body Diagram Jib Boom Hydraulic crane.

$$M(x') = -F_{Ax} \sin \alpha (x-0)^1 - F_{Ay} \cos \alpha (x-0)^1 + F_{CBx}(x-L_3)^1 - (-F_{CBy})(x-L_3)^1 - W \cos \alpha (x-L_2)^1$$

$$M(x') = -F_{Ax} \sin \alpha (x-0)^1 - F_{Ay} \cos \alpha (x-0)^1 + F_{CBx}(x-5,99)^1 - (-F_{CBy})(x-5,99)^1 - W \cos \alpha (x-L_2)^1$$

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M(x')$$

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -F_{Ax} \sin \alpha x - F_{Ay} \cos \alpha x + F_{CBx}(x-5,99)^1 - (-F_{CBy})(x-5,99)^1 - W \cos \alpha (x-L_2)^1$$

$$EI \frac{dy}{dx} = -F_{Ax} \sin \alpha \frac{1}{2} x^2 - F_{Ay} \cos \alpha \frac{1}{2} x^2 + \frac{F_{CBx}}{2} (x-5,99)^2 + \frac{F_{CBy}}{2} (x-5,99)^2 - \frac{W \cos \alpha}{2} (x-9,605)^2 + C1$$

$$EI y' = \frac{-F_{Ax} \sin \alpha}{6} x^3 - \frac{F_{Ay} \cos \alpha}{6} x^3 + \frac{F_{CBx}}{6} (x-5,99)^3 + \frac{F_{CBy}}{6} (x-5,99)^3 - \frac{W \cos \alpha}{6} (x-9,605)^3 + C1x + C2 \quad (8)$$

Mencari konstanta integrasi C1 dan C2 digunakan kondisi batas sebagai berikut

Kondisi batas I,

$$y' = 0 \text{ pada } x = 0 \quad x < a, \quad (x-a) = 0$$

$$0 = 0 - 0 - 0 + 0 + 0 + C2$$

$$C2 = 0$$

(9)

Kondisi batas II,

$$y' = 0 \text{ pada } x = 5,99 \text{ m}$$

$$0 = \frac{-F_{Ax} \sin \alpha}{6} (5,99)^3 - \frac{F_{Ay} \cos \alpha}{6} (5,99)^3 + 0 + C1 (5,99)$$

$$0 = -35,82 (F_{Ax} \sin \alpha x - F_{Ay} \cos \alpha x) - C1 (5,99)$$

$$C1 = 5,97 (F_{Ax} \sin \alpha x - F_{Ay} \cos \alpha x) - 2640057,9 \quad (10)$$

Maka setelah konstanta integrasi pada persamaan (9) dan (10)

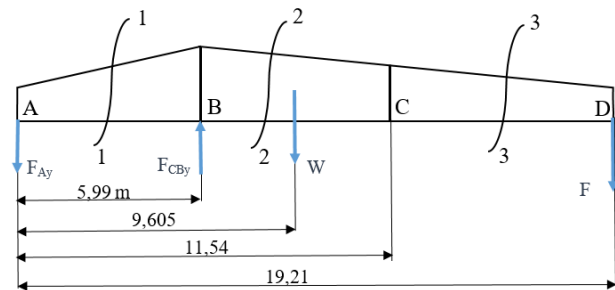
di substitusikan ke dalam persamaan (8) sehingga persamaan menjadi seperti berikut

$$EI y' = \frac{1}{6} (-F_{Ax} \sin \alpha x^3 - F_{Ay} \cos \alpha x^3 + F_{CBx}(x-5,99)^3 + F_{CBy}(x-5,99)^3 - \frac{W \cos \alpha}{6} (x-9,605)^3 + 5,97(F_{Ax} \sin \alpha x - F_{Ay} \cos \alpha x) - 2640057,9) \quad (11)$$

Nilai defleksi maksimum dapat dicari dari persamaan (11) yang telah didapat. Defleksi maksimum terjadi pada $x = 19,21 \text{ m}$ sehingga didapat $0,042 \text{ m}$ atau 42 mm .

• Perhitungan Tegangan

Langkah awal untuk menghitung tegangan (*stress*) pada *jib boom hydraulic crane* adalah menghitung momen pada tiap titik dengan analisa bidang vertikal

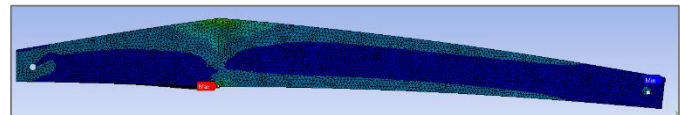


Gambar 6. Analisa bidang vertikal dengan metode potongan.

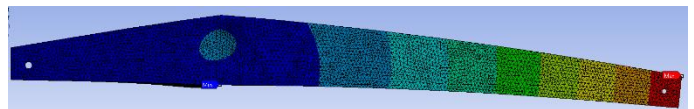
Setelah didapatkan momen pada setiap titik pada *beam* kemudian menggunakan persamaan (2) untuk didapatkan tegangan pada titik A, B dan C pada *jib boom hydraulic crane*. Tegangan pada titik B didapatkan sebesar $206,08 \text{ Mpa}$ dan pada titik D adalah $29,8 \text{ Mpa}$. Tegangan pada titik B merupakan tegangan maksimum.

B. Analisa Equivalent Stress dan Total Deformation pada Software Elemen Hingga.

Analisa dilakukan sebelum dilakukan *size optimization*. Dengan melakukan analisa di awal akan dapat dibandingkan dengan hasil yang teroptimasi. *Equivalent stress* maksimum terjadi pada *section* tengah *jib* sebesar $258,89 \text{ Mpa}$. *Total Deformation* maksimum terjadi pada ujung *jib* sebesar $40,652 \text{ mm}$



Gambar 7. Equivalet Stress Pada Jib Boom.



Gambar 8. Total Deformation Pada Jib Boom.

Berdasarkan hasil simulasi pada *software* hasil *hand calculation* pada *equivalent stress* terjadi perbedaan sebesar $20,3\%$ dan 15% pada *total deformation*. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pada *software* mendekati yang sebenarnya.

C. Size Optimization

Sebelum dilakukan optimasi, terdapat tiga besaran utama optimasi yang harus ditentukan yaitu *design variable*, *objective function*, dan *constraint* yang harus ditentukan terlebih dahulu [3]. Persamaan tiga besaran utama dituliskan seperti berikut ini

1. Design variables

Design variables pada penelitian tugas akhir ini adalah lebar dan tinggi *jib boom hydraulic crane* pada setiap *cross section*. Dengan terdapat tiga *design variables* untuk lebar dan tiga *design variables* untuk tinggi. Sehingga terdapat 6 *design variables* yaitu lebar 1, lebar 2, lebar 3, tinggi 1, tinggi 2, tinggi 3 dan dapat dituliskan seperti persamaan berikut ini

X = Lebar *cross section* 1 : H5-P6 (*Parameter symbol* pada *software*)

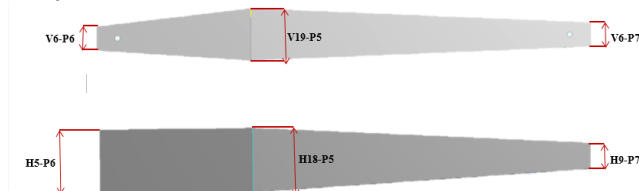
Tinggi *cross section* 1 : V6-P6 (*Parameter symbol* pada *software*)

Lebar *cross section* 2 : H18-P5 (*Parameter symbol* pada *software*)

Tinggi *cross section* 2 : V19-P5 (*Parameter symbol* pada *software*)

Lebar *cross section* 3 : H9-P7 (*Parameter symbol* pada *software*)

Tinggi *cross section* 3 : V6-P7 (*Parameter symbol* pada *software*)



Gambar 9. Ilustrasi input parameter (*design variables*) Pada *Jib Boom*

2. Objective Function

Objective function merupakan tujuan dari dilakukannya optimasi, massa jib menjadi *objective function* yang harus diminimalkan.

Min $f(x)$,

$f(x)$ = Massa Jib Boom Hydraulic Crane (kg)

Massa = $\rho \times \text{Volume Total}$

Massa = $\rho \times (V1 + V2 + V3)$

Massa = $\rho \times [(H5 \times V6 \times t) + (H18 \times V19 \times t) + (H9 \times V6 \times t)]$, kg

Constraints

Inequality constraint :

Subject to

Equivalent Stress : $\sigma_{arranged} \leq \sigma_{allowed}$

Total Deformation : $\delta_{arranged} \leq \delta_{allowed}$

Size Constraints : $2 \leq H5-P6 \leq 2,75$ m

$2 \leq H18-P5 \leq 2,75$ m

$0,8 \leq H9-P7 \leq 1,1$ m

$0,8 \leq V6-P6 \leq 1$ m

$1,8 \leq V19-P5 \leq 2,2$ m

$0,8 \leq V6-P7 \leq 1,1$ m

IV. PEMBAHASAN

Size Optimization menggunakan fitur Response Surface Optimization pada Workbench. Dengan menentukan *upper* dan

lower bound pada setiap desain variabel. Kemudian menentukan *objective function* dan *constraints*. Metode optimasi menggunakan NLPQL yang dilakukan dengan 100 iterasi. Hasil optimasi telah *convergen* dengan 224 evaluasi.

Tabel 2.

Candidate Point Hasil *Size Optimization*

	Candidate Point 1	Candidate Point 2
P2 - Plane6.V6 (m)	0,89137	0,89773
P1 - Plane6.H5 (m)	2	2
P3 - Plane5.H18 (m)	2,1066	2,1153
P4 - Plane5.V19 (m)	1,9387	1,936
P5 - Plane7.H9 (m)	0,85434	0,87504
P6 - Plane7.V6 (m)	0,88658	0,89765
P7 - Equivalent Stress Maximum (MPa)	★ ★ ★ 237,3	★ ★ ★ 230,73
P8 - Total Deformation Maximum (mm)	★ ★ ★ 40,652	★ ★ ★ 39,907
P9 - Geometry Mass (kg)	★ ★ ★ 9276,4	★ ★ ★ 9321,2
P10 - Safety Factor Minimum	★ ★ ★ 1,5044	★ ★ ★ 1,528

Pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa *geometry mass* yang dihasilkan dari optimasi ukuran adalah 9276,4 kg untuk kandidat 1 dan 9231,2 kg untuk kandidat 2. *Geometry mass* mengalami perubahan sebesar 10,7% untuk *candidate point* 1 dan 10,26% untuk *candidate point* 2. Kandidat terbaik dimiliki oleh *candidate point* 1 dengan *equivalent stress* sebesar 237,3 Mpa dan *total deformation* 40,652 mm.

A. Size Optimization Lanjut

Mengacu pada hasil optimasi sebelumnya, penulis melakukan penelitian kembali dengan melakukan optimasi Lanjut. Optimasi lanjut dilakukan dengan merubah tebal dari plat vertikal dan horisontal *jib boom hydraulic crane* yang tersedia di penjualan dengan material yang sama. Hal ini dilakukan untuk lebih mengurangi massa dari *jib* dengan kekuatan yang tetap baik dan tidak melebihi batas kekuatan dari material. Secara teoritis, semakin tebal plat yang digunakan maka nilai dari I/C (momen area kedua/ jarak terjauh dari sumbu utama) akan semakin besar [4].

Tabel 3.

Perbandingan Pengaruh Tebal Plat Terhadap *Output Parameter Size Optimization*

Model	th (atas- bawah) mm	tl (kanan- kiri) mm	Equivalent Stress (Mpa)	Total Deformation (mm)	Safety Factor	Geometry Mass (kg)	Ratio th/tl
Model th/tl=1	8	8	300,95	48,628	0,8307	8250,7	1
	10	10	257,97	40,946	1,41	10388	1
	12	12	217,83	31,991	1,1477	12347	1
Model th/tl>1	12	10	214,32	34,246	1,1665	11486	1,2
	12	8	236,41	41,76	1,0575	10144	1,5
	12	6	315,55	43,052	0,7830	8500	2

Berdasarkan Tabel 3 tersebut menjadi acuan untuk melakukan *size optimization* dengan tebal plat yang berbeda. Tebal yang dipilih adalah model th/tl = 1 dengan 8 mm. Tebal plat yang digunakan dengan model th/tl >1 adalah th = 12 mm dan tl=6 mm. Pemilihan ini berdasarkan masa yang paling ringan dengan *equivalent stress* dibawah batas kekuatan material.

Tabel 4.
Perbandingan Hasil Optimasi Ketiga Model

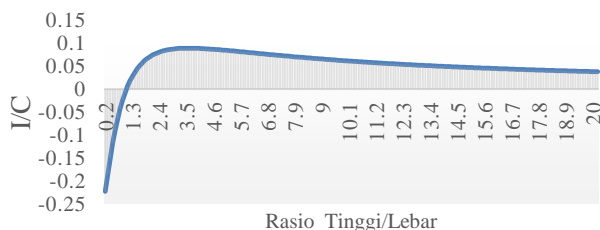
Model	th (mm)	tl (mm)	Section					
			Pangkal (m)		Ujung (m)		Ujung (m)	
			tinggi	lebar	tinggi	lebar	tinggi	lebar
Awal (sebelum optimasi)	10	10	0,91	2,5	2	2,5	0,91	1
Awal (Optimasi)	10	10	0,89	2	1,93	2,1	0,88	0,85
th/tl=1	8	8	1	2,26	2,149	2,36	1	1,09
th/tl>1	12	6	0,819	2	2,122	2	0,819	0,9
No	Model	Output Parameter						
		Geometry Mass (kg)	Equivalent Stress (Mpa)	Total Deformation (mm)	Safety Factor			
1	Awal (Sebelum Optimasi)	10388	258,89	40,652	1,4			
2	Awal (Sesudah Optimasi)	9276,4	237,3	40,652	1,5			
3	th/tl=1	8372	297,65	45,49	1,5003			
4	th/tl>1	8480	262,07	40,578	1,5			
No	Model	Output Parameter						
		Geometry Mass	Equivalent Stress	Total Deformation				
1	Awal	10388 kg	258,89 Mpa	40,652 mm				
Perubahan (%)								
2	Awal (Optimasi)	-10,70%	-8,34%	0%				
3	th/tl=1	-19,39%	14,97%	11,65%				
4	th/tl>1	-18,36%	1,22%	-0,18%				

Dari ketiga model yang telah dilakukan *size optimization* dapat dijadikan desain baru kedepannya. Namun yang paling maksimum hasilnya adalah model th/tl=1. Dengan massa yang lebih ringan dapat menerima beban sebesar 25 Ton. Dan *equivalent stress* yang terjadi tidak melebihi batas kekuatan material.

B. Komparasi Hasil Size Optimization

Dalam melakukan perbandingan rasio tinggi/lebar setiap *section* pada *jib boom* dari hasil *software* dilakukan dengan perhitungan pada *Microsoft Excel*. Perhitungan rasio dilakukan untuk mengetahui berapa perbandingan tinggi/lebar optimal pada *rectangle hollow beam* sebagai *section* dari *jib boom hydraulic crane*. Pencarian rasio optimal dilakukan dengan cara mencari I/c yang maksimum dengan A (luas) konstan.

Perbandingan Rasio Tinggi-Lebar *Section* (Pangkal, Tengah, Ujung) Pada Model Awal (Teroptimasi) dan Model th/tl=1



Gambar 10. Rasio Tinggi/Lebar vs I/c *Section* Pangkal Jib Pada Model Awal (Th=tl=10 mm) Setelah Optimasi

Tabel 5.
Perbandingan Rasio Tinggi-Lebar pada Jib Boom Model Awal (Ter-optimasi)

Section	ANSYS / Excel	Rasio th/tl	Z=I/c
Pangkal	Excel	2,4	0,806
	ANSYS	0,44	0,0543
Tengah	Excel	2,25	2,01378
	ANSYS	0,92	1,43248
Ujung	Excel	3,6	0,08964
	ANSYS	1,037	0,002

Hasil pada tabel 5 didapatkan presentase pada *section* pangkal hanya mencapai 6,73% dari rasio optimal. Tabel 5 juga menunjukkan rasio Tinggi-Lebar pada *section* tengah dan ujung. Dapat diketahui bahwa pada *section B* rasio optimal yang didapatkan pada Ms.Excel adalah 2,25. Sedangkan rasio Tinggi-Lebar (V19-H18) yang didapatkan dari optimasi *software* adalah 0,92. Hasil antara keduanya sangat jauh berbeda. Rasio dengan 0,92 mencapai 71,13% dari ratio optimal. Pada *section C* berdasarkan perhitungan menggunakan Ms.Excel didapatkan rasio optimal 3,6 yang menghasilkan I/c 0,08964. Sedangkan hasil *software* memberikan rasio (V6-H9) 1,037 dengan I/c adalah 0,002. Rasio yang diberikan oleh *software* mencapai hanya 2,23% dari rasio optimal yang dihitung dengan Ms.Excel.

Tabel 6.
Perbandingan Rasio Tinggi/Lebar *Section* pada Jib Boom Model th/tl=1

Section	ANSYS / Excel	Rasio th/tl	Z=I/c
Pangkal	Excel	2,4	0,804898
	ANSYS	0,44	0,042424
Tengah	Excel	2,2	2,0124
	ANSYS	0,907	1,413581
Ujung	Excel	3,5	0,088723
	ANSYS	0,914	0,02245

Dengan perumusan perhitungan yang sama dengan model awal (teroptimasi), model th/tl=1 memiliki rasio tinggi-lebar yang berbeda dengan rasio optimal pada Ms.Excel. Berdasarkan tabel diatas, *section* pangkal dengan *software* hanya mengalami 5,27% optimal dari rasio optimalnya. Sedangkan pada *section* tengah dan ujung hasil *software* mencapai 70,2% dan 25,3% optimal dari rasio optimalnya pada perhitungan Ms.Excel.

Tabel 7.
Perbandingan Rasio Tinggi-Lebar pada Jib Boom Model th/tl >1

Section	ANSYS / Excel	Rasio th/tl	Z=I/c
Pangkal	Excel	4,3	0,0771
	ANSYS	0,41	0,0354
Tengah	Excel	4,1	0,108
	ANSYS	1,063	0,077
Ujung	Excel	4,4	0,0185
	ANSYS	0,91	0,0121

Dengan model th/tl>1 hasil optimasi pada *section* pangkal hanya mencapai 45,9% optimal dari rasio optimal pada Ms.Excel. Sedangkan untuk *section* tengah mencapai 71,2% optimal dari rasio optimal pada Ms.Excel. Rasio yang didapat dari hasil *software* 1,063, sedangkan rasio optimalnya adalah 4,1. Begitu pula dengan *section* ujung yang mencapai 65,4% optimal dari rasio optimalnya pada Ms.Excel. Rasio tinggi-lebar dari hasil optimasi *software* memberikan angka 0,91. Sedangkan pada rasio optimalnya adalah 4,4.

Perbedaan hasil *software* dan Ms.Excel dikarenakan pada *software* batas bawah dan atas setiap variabel terbatas. Pada *software*, batas hanya dapat ditentukan dengan *range* tertentu. penentuan batas tidak bisa terlalu jauh dari geometri sebenarnya pada permodelan. pada *software quality mesh* yang digunakan hanya 23,8%. hal ini bisa mempengaruhi hasil optimasi karena elemen yang kurang baik kualitasnya.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan pembahasan pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan

1. Berikut ini adalah kandidat poin baru (lebar x tinggi) setelah dilakukan optimasi pada *jib boom hydraulic crane* dengan:
 - a. Model awal teroptimasi (10 mm); untuk setiap *section*nya adalah A:(2x0,89 m), B: (2,1x1,93 m), C: (0,85x0,88 m).
 - b. Model $th/tl=1$ (8 mm); untuk setiap *section*nya adalah A:(2,26x1m), B: (2,36x2,1 m), C: (1,09x1 m).
 - c. Model $th/tl>1$ (t_H : 12 mm; t_L : 6 mm); untuk setiap *section*nya adalah A:(2x0,819 m), B: (2,0681x2,2 m), C: (0,9x0,819 m).

2. Dari ketiga model (Model awal teroptimasi, $th/tl=1$, $th/tl>1$) *geometry mass* paling ringan adalah model $th/tl=1$. Model ini memiliki *equivalent stress* yang berada dalam batas kekuatan material

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Diaz Vidya Kelana mengucapkan terima kasih kepada Bapak Wanya dan Bapak Putu Rustika selaku Direktur Utama dan *Design Engineer* dari PT.Lelangon, sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. de Wec, *Design, Analysis and Optimization of Overhead Crane Girder*. Vadasma, 2004.
- [2] H. Raditya, "Analisa Gaya Pada Telescopic Boom Truck Crane XCMG QY50K," Surakarta, 2017.
- [3] A. Pingle, "Size And Shape Optimization of An Excavation Boom Assembly," India, 2004.
- [4] J. Singh, *Introduction To optimum Design*, 4th ed. Iowa: The university of Iowa, College of Engineering.